

Artículo Científico**Análisis del flujo de la mazamorra de Tiquipaya - Bolivia 2018:
identificación de causas, riesgos y acciones****Analysis of the debris mud flow of Tiquipaya - Bolivia 2018:
identification of causes, risks and actions**

Claude Le Noir 1. Nahúm Gamalier Cayo Chileno 2.
Héctor Luis Sánchez Miranda 3. Alex Isaac Arrázola Brañez 4.
José Gabriel Terán Ca macho 5. Jesús Gilbert Noel Zampieri 6.

1. Ingeniero Civil. Universidad de Gante, Gante, Bélgica, Europa. Master of Engineering. Universidad de Gante, Gante, Bélgica, Europa. Consultor Particular áreas de Hidráulica de Ríos, de Puertos y Vías Navegables, y Proyectos Hidroeléctricos. Docente de la Carrera de Ingeniería Civil de las asignaturas Hidráulica I y 11 e Hidrología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. lnoirclaude10@gmail.com
2. Estudiante de Ingeniería Civil y alumno Hidrología GI/2018, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. nahumcayo@hotmail.com
3. Estudiante de Ingeniería Civil y alumno Hidrología GI/2018, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. sanchezmirandahectorluis@hotmail.com
4. Estudiante de Ingeniería Civil y alumno Hidrología GI/2018, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. alex.isaac.arrazola@hotmail.com
5. Estudiante de Ingeniería Civil y alumno Hidrología GI/2018, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. GTeran@hotmail.com
6. Estudiante de Ingeniería Civil y alumno Hidrología GI/2018, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. jgnzampieri@hotmail.com

RESUMEN

En el mes de febrero 2018, el Municipio de Tiquipaya - Bolivia fue afectado por un flujo de mazamorra a partir del ingreso del Río Taquiña a su cuenca baja, provocando inundaciones y acumulaciones de mazamoras de gran magnitud. El estudio de dicho acontecimiento es importante ya que con las medidas de prevención adecuadas se logrará disminuir/evitar futuros eventos similares. Este artículo tiene por objetivo dar a conocer las principales causas del flujo de mazamorra, además sugerir medidas preventivas a través de investigación internacional, consulta de datos y análisis, empleando la información necesaria de las instituciones públicas afines.

Palabras clave: Flujo de mazamorra. Licuefacción. Cono de deyección. Colmatador de sedimentos. Barreras dinámicas. Franja de seguridad. Mapa de riesgo. Plan de intervenciones.

ABSTRACT

February 2018, the Municipality of Tiquipaya was affected by a debris mud flow from the entrance of the Taquiña River in its lower basin, causing floods and accumulations of mud and debris of great magnitude. The study of this event is important because with the appropriate prevention measures it will be possible to reduce/avoid similar events in the future. This article aims to inform, about the main causes of the debris mud flow and the preventive measures, through international research, data consultation and analysis, using the necessary information from related public institutions.

Keywords: Debris mud flow. Liquifaction. Dejection cone. Sediment tramp. Dynamic barrier. Security strip. Risk map. Plan of interventions.

INTRODUCCIÓN

Un flujo de mazamorra es un tipo de deslizamiento de tierra, en estado liquidificado, de rápido movimiento que posterior a producirse sigue el curso del río. Un deslizamiento de tierra o de roca, a su vez, es simplemente un movimiento de tierra, en estado normal, cuesta abajo, que no es movido directamente por el río. Los deslizamientos de ladera se quedan temporalmente en el lecho del río obstruyendo el flujo normal del río. Cuando el flujo del agua logra saturar el suelo de estos deslizamientos, el material deslizado se liquidifica con el agua y puede dar lugar a un flujo de mazamorra. Es importante estudiar los derrumbes en el lecho del río y limpiarlos artificialmente si es necesario.

Los flujos de mazamorra ocurren después de que el agua haya saturado rápidamente el suelo sobre una pendiente, como durante una fuerte lluvia. No se necesita un alto relieve en la topografía para crear un flujo de mazamorra. Solo se requiere que la fuerza de la gravedad sea lo suficientemente fuerte como para hacer bajar el material que el agua haya liquidificado.

Los deslizamientos de tierra se mueven lentamente y causan gradualmente daños, mientras que flujos de mazamorra se mueven tan rápido que pueden destruir propiedades y cobrar vidas de forma repentina e inesperadamente. Estos flujos generalmente ocurren durante períodos de lluvias intensas o de deshielo rápido. Por lo general, comienzan en laderas empinadas como derrumbes poco profundos que se licúan y aceleran a velocidades que normalmente son de alrededor de 20 km/h, pero pueden superar los 80 km/h.

La consistencia de los flujos de mazamorra varía desde lodo acuoso hasta barro espeso y rocoso que puede transportar elementos grandes como rocas, árboles, automóviles hasta casas. Los flujos de mazamorra de varias fuentes diferentes pueden combinarse en un canal donde su poder destructivo puede aumentar enormemente, creciendo en volumen con la adición de agua, arena, barro, rocas, árboles y otros materiales. Cuando el flujo llega al final de la cuenca media, donde se tiene el cono de deyección, una gran parte de los materiales del flujo de mazamorra se extienden por un área amplia y se inmovilizan. Cuando no existe cono de deyección el flujo de mazamorra avanza en la cuenca media hasta terrenos más llanos a veces acumulándose en depósitos espesos que pueden causar estragos en las áreas desarrolladas.

Los flujos de mazamorra son deslizamientos rápidos que ocurren en una amplia variedad de entornos en todo el mundo. Son particularmente peligrosos para la vida y la propiedad porque se mueven velozmente, destruyen objetos en su camino y, a menudo, golpean sin previo aviso. Científicos del

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) están evaluando los riesgos de flujo de mazamorra en los Estados Unidos y en otros lugares, desarrollando técnicas en tiempo real para monitorear áreas peligrosas de manera que se puedan definir previamente cierres de carreteras, evacuaciones o acciones correctivas (Geological Survey, 2007). Los mismos estudios se repiten en la (European Landslide Expert Group, 2009; International Consortium on Landslides, 2015).

Los flujos de mazamorra generalmente están asociados con períodos de fuertes lluvias o derretimiento rápido de la nieve y tienden a empeorar los efectos de las inundaciones que a menudo acompañan a estos eventos. En áreas quemadas por incendios de bosques y arbustos o áreas desforestadas, un umbral de precipitación más bajo puede iniciar flujos de mazamorra. Los flujos de mazamorra más conflictivos son los flujos que acompañan erupciones volcánicas. Temblores y terremotos también pueden encadenar flujos de mazamorra.

En Bolivia no se dispone de estudios técnicos de flujos de mazamorra, por ende, los estudiantes y el docente de la materia de Hidrología GI-2018 de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Valle, Cochabamba, decidieron realizar un estudio de investigación a nivel internacional respecto al tema de los flujos de la mazamorra. Las preguntas de investigación para llevar a cabo este análisis fueron:

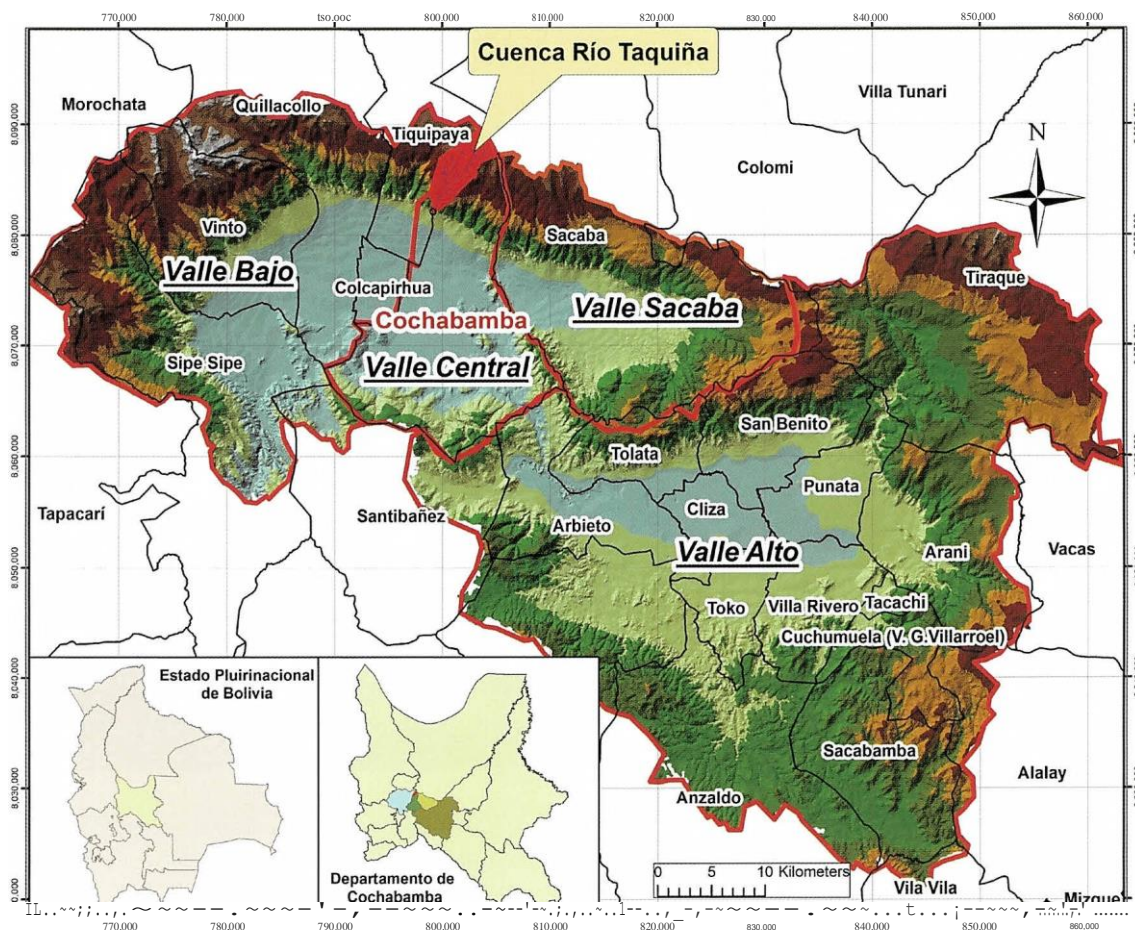
- ¿Cómo se generan?
- ¿Qué factores influyen en su formación?
- ¿Cómo se propagan?
- ¿Cómo se puede disminuir sus consecuencias?

Este estudio ha permitido a los investigadores analizar de forma técnica el flujo de mazamorra de Tiquipaya y proponer un plan de intervenciones. Este tipo de estudio es importante para Bolivia, en vista que la mancha urbana en los Valles de Cochabamba y La Paz cada vez más se está acercando a las laderas de las montañas y a los conos de deyección de los ríos. En el presente artículo, se tiene una sinopsis de los principales temas de la investigación y análisis efectuado por los investigadores.

El Gobernador del Departamento de Cochabamba ha calificado el desastre de Tiquipaya por el flujo de la Mazamorra como el segundo evento más trágico que vivió la población del Departamento de Cochabamba después del terremoto en Aiquile que tuvo una magnitud de 6,6 grados en la escala de Richter y que dejó una numerosa cantidad de víctimas el 22 de mayo de 1998. El evento del flujo de la mazamorra ocurrió el 6 de febrero de 2018, provocando deterioros serios a la infraestructura civil, afectando a una numerosa cantidad de pobladores con severos daños particulares y dejando un saldo de 5 víctimas (Los tiempos, 2018; Cambio, 2018).

En la Figura 1 se tiene el plano de ubicación de la Cuenca del río Taquiña dentro de la Cuenca del Valle Bajo del Departamento de Cochabamba - Bolivia. La Cuenca Taquiña pertenece a tres Municipios (Tiquipaya, Cochabamba y Sacaba). En la Figura 2 se tiene fotografías que demuestran los daños ocasionados por el flujo de la mazamorra.

Figura N°. Ubicación Cuenca Río Taquiña - Cuencas Valle Alto/ Valle Sacaba/ Valle Central/ Valle Bajo- Departamento de Cochabamba - Bolivia



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura N°2. Daños provocados por el flujo de la Mazamorra Bolivia - Departamento de Cochabamba - Municipio de Tiquipaya - Bolivia



Fuente: Izquierda arriba: Opinión, 2018; derecha arriba: Página Siete, 2018; izquierda abajo: Ugentebo, 2018; y derecha abajo: Fides, 2018.

Por lo tanto, los objetivos de la investigación y el análisis fueron los siguientes:

- Determinar las causas que originaron el flujo de la mazamorra en las cuencas alta, media y baja del río Taquiña.
- Estudiar las consecuencias catastróficas del flujo de la mazamorra en la cuenca baja.
- Determinar un mapa de riesgos para ver la generación de deslizamientos y flujos de mazamorra para la cuenca alta y media del río Taquiña.
- Proponer un plan de intervenciones para evitar flujos de mazamorra o para disminuir sus efectos negativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

- Estudio de bibliografía técnica internacional sobre flujos de mazamorra y análisis de artículos de prensa nacional sobre el evento.
- Visitas a instituciones afines: (1) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle para obtención de datos hidrológicos respecto al evento; y (2) Servicio Departamental de Cuencas (SDC) para la obtención de un informe técnico acerca del evento y para la obtención de mapas temáticas del área de estudio.
- Visitas técnicas a la cuenca baja y al inicio de la cuenca media del río Taquiña: (1) Para levantamiento de datos topo-batimétricos del río Taquiña a la altura del puente avenida Ecológica; e (2) inspección visual del área del cono de deyección y de las franjas de seguridad en las márgenes del río.
- Análisis de anteriores estudios hidrológicos de la Cuenca Taquiña de exPROMIC (PROMIC = Programa de Manejo Integral de Cuencas - Cochabamba - Bolivia - 1990 a 2009)., de LHUMMS (LHUMSS = Laboratorio de Hidráulica Universidad Mayor de San Simón - Cochabamba) y de otros expertos (Zarate, 2010; Villazón, 2007).
- Estudio propio de riesgos de deslizamientos de la cuenca.
- Determinación propia de las causas del flujo de mazamorra, de las consecuencias catastróficas de este flujo, y de las intervenciones necesarias para disminuir los efectos del flujo de mazamorra o para evitar estos flujos en el futuro.

No fue posible realizar un estudio hidrológico e hidráulico representativo del fenómeno ocurrido por falta de datos de la precipitación del evento en la cuenca. Los tres pluviógrafos de la cuenca solamente funcionaron de 1992 a 2004. La transferencia de datos de otras estaciones no es correcta por la fuerte zonificación de las lluvias que existe en Cochabamba.

Para la elaboración del mapa de riesgo de deslizamientos a nivel de la cuenca se ha usado la metodología descrita por Suárez (2012).

Datos básicos

Para el estudio de riesgos de deslizamientos a nivel de la cuenca el Servicio Departamental de Cuencas (SDC) puso a disposición la siguiente información básica en forma digital: Mapas de pendientes, de geología, de geomorfología, de fallas geológicas de red de ríos, de isoyetas de precipitación anual, de vegetación, de uso actual y de deslizamientos registrados. Para obtener una buena precisión se ha trabajado con una imagen de terreno (topográfico) ALOS PALSAR de alta resolución 12,5 m x 12,5 m revisada y corregida del área del estudio.

Software

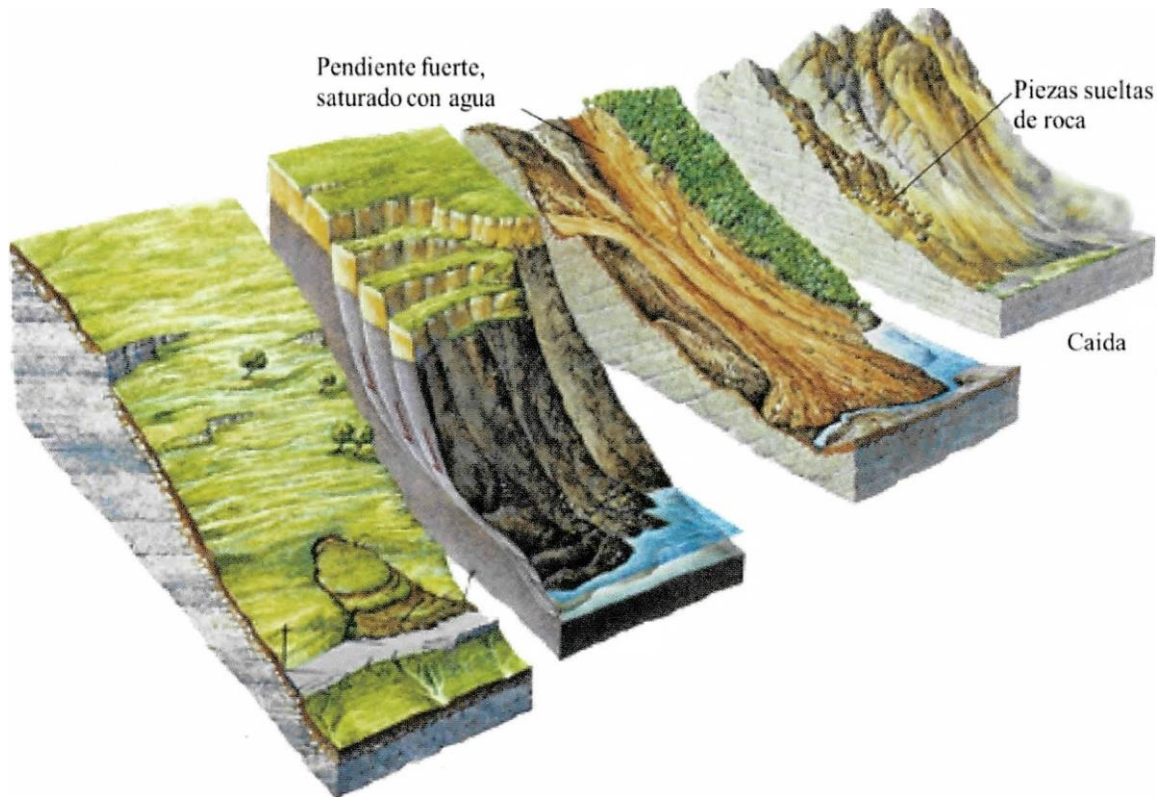
Para el procesamiento de la información básica cartográfica se ha aplicado la plataforma de mapeo y análisis de datos de información geográfico ArcGis 10.1. de ESRI (Environmental Systems Research Institute).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de bibliografía internacional técnica

El desarrollo del presente punto corresponde a un resumen propio por parte de los investigadores, de temas importantes (técnicos y otros) respecto a flujos de la mazamorra encontrados en varias referencias (Suárez,2012; Kean,2007; Lacob,2014; Survey,2007; Highland, 2008).

Figura N°3. Tipos de deslizamientos con la formación geomorfológica de la Tierra.



Fuente:Lacob,2014.

El proceso de la formación geomorfológica del planeta Tierra, pasa a escala de tiempo geomorfológica grande por cuatro "tipos de deslizamientos":

1. Inicialmente, deslizamientos por la fluencia del suelo que son movimientos lentos debido a pequeños cambios en las partículas del suelo.
2. Luego, se producen los deslizamientos comunes, que son más rápidos, que ocurren por falta de estabilidad geotécnica y que se deslizan por una pendiente con franjas de suelo relativamente grandes y paralelos.
3. Posteriormente, se tiene los flujos de mazamorra que ocurren cuando una pendiente se satura con agua, creando sobrepresiones en los poros, y desencadena un flujo-deslizamiento de una masa de tierra y rocas (detritos) empapada en agua, se producen con mayor velocidad que los deslizamientos comunes.
4. Finalmente, cuando ya no existe cubrimiento de suelo, se manifiestan los desprendimientos de rocas, que son deslizamientos repentinos causados por fuertes lluvias o heladas que desalojan las rocas más grandes.

stra los cuatro tipos de deslizamientos.

Mapa de riesgos de deslizamientos y de flujos de mazamorra

Se ha elaborado con la información disponible un mapa de riesgos de deslizamientos de la cuenca alta y media del río Taquiña a fin de identificar zonas de mayor riesgo a deslizamientos y flujos de mazamorra y comparar estas zonas con los lugares donde se registraron deslizamientos y flujos de mazamorra.

El mapa de riesgos considera un análisis multicriterio de las diferentes causas que pueden provocar un deslizamiento por licuefacción y un flujo de mazamorra. Las causas (criterios) que se han tomado en cuenta en el presente estudio se tienen en la Tabla I.

Tabla N° I. Factores de ponderación para causas de deslizamientos con flujos de mazamorra

Causas de deslizamiento con flujo de mazamorra	Factor de ponderación
Las pendientes de la topografía	0,40
La vegetación	0,20
Las isoyetas de precipitación media anual	0,15
Las fallas geológicas	0,10
La geomorfología	0,10
La red de drenaje	0,05

Fuente: Elaboración propia con datos de Suárez, 2012.

Por lo general también son criterios el tipo de suelo (no se cuenta en el presente estudio con un mapa temático de suelos), el uso de suelos (no se dispone para el presente estudio de un mapa de uso de suelo a suficiente precisión). Para las isoyetas normalmente se debería de usar precipitaciones máximas diarias con periodo de retorno. Pero no se tiene esta información para la Cuenca Taquiña.

De los 6 criterios, se elaboró el mapa temático, se ha clasificado el tema, y por clase de tema se ha definido un riesgo de entre 0 a 1, Tabla 2. Luego, los 6 mapas temáticos clasificados se han unido en base a los factores de ponderación mediante álgebra de mapas y se obtiene el mapa de riesgo, el cual se ha clasificado en cuatro rangos (riesgo bajo, riesgo moderado, riesgo alto y riesgo muy alto) Figura 4.

En el mapa de riesgo se han anotado también las áreas de los deslizamientos registrados por el SDC y las zonas origen de los flujos de mazamorra. Se puede ver que existe una correspondencia con áreas de riesgo muy alto, alto y moderado. La correspondencia obviamente no es 100%, debido a problemas con (o falta de) información básica temática (isoyetas por precipitación máxima diaria con periodo de retorno, tipo de suelos, uso de suelos, mejor geomorfología).

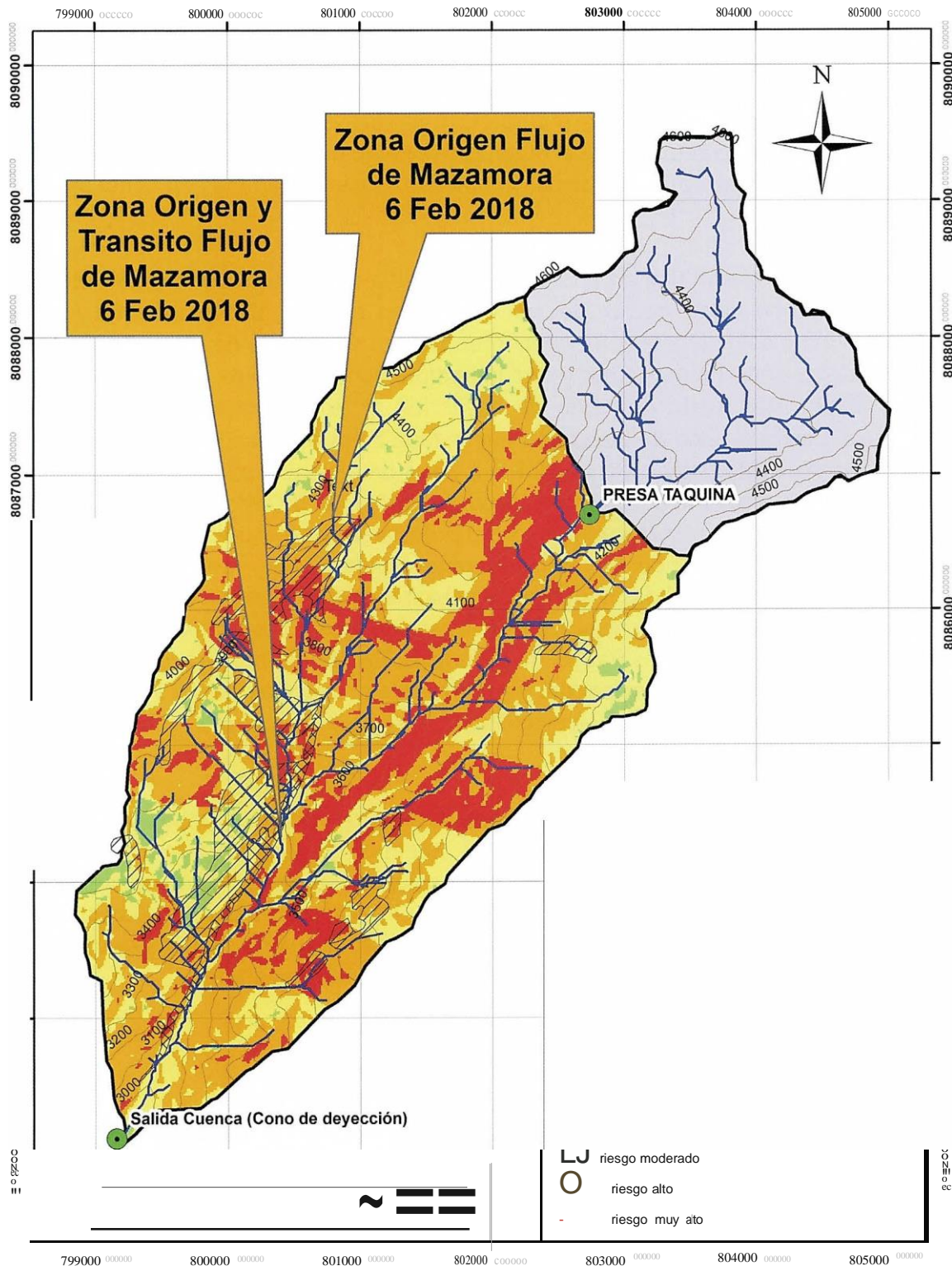
Un mapa de riesgos de deslizamientos y de flujos de mazamorra es un instrumento útil para todas las fases del manejo de la cuenca (monitoreo, estudio, planificación de intervenciones)

Tabla Nº2. Causas de deslizamientos con flujos de mazamorra divididas en clases de riesgo

Causa - Tema	Clases			
	Pendientes de la topografía	0%::,x<!Oo/o	10 % :Sx <45 %	45 %:Sx< 90 %
Riesgo	0,3 (bajo)	0,6 (moderado)	0,8 (alto)	1 (muy alto)
Vegetación	<p>Bofedales de altura (turberas altoandinas y subnival).</p> <p>Bosques nativos alto andinos densos de <i>Polylepis besseri</i> y/o <i>Polylepis tomentella ssp. nana</i>.</p> <p>Bosques nativos altoandinos ralos de <i>Polylepis besseri</i> y/o <i>Polylepis tomentella ssp. nana</i>.</p> <p>Bosques nativos relictuales de <i>Carica quercifolia</i> y <i>Kageneckia lanceolata</i>.</p>	<p>Cauces de ríos</p> <p>Herbazal serial de <i>Muhlenbergia</i> rígida y <i>Elionurus tripsacoides</i>.</p> <p>Matorrales y pajonales sucesionales densos de <i>Dodonea viscosa</i> y <i>Keurothamnus weddlianus</i>.</p> <p>Pajonales y matorrales altimontanos densos de <i>Stipa ichu</i> y <i>Baccharis dracunculifolia</i>.</p>	<p>Pajonales y herbazales ralos altoandinos y subnavales.</p> <p>Pajonales y matorrales altimontanos ralos de <i>Stipa ichu</i> y <i>Baccharis dracunculifolia</i>.</p>	Afloramientos de roca
Riesgo	0,3 (bajo)	0,6 (moderado)	0,8 (alto)	1 (muy alto)
Isoyetas de precipitación media anual	625 S x < 775 mm/año		775 S x < 925 mm/año	
Riesgo	0,8 (alto)		1 (muy alto)	
Fallas geológicas	fuera de área de falla geológica		dentro de área de falla geológica	
Riesgo	0,3 (alto)		1 (muy alto)	
Geomorfología	Laguna Abanico aluvial reciente.	<p>Serranía ligeramente disectada con pendiente ligera.</p> <p>Serranía ligeramente disectada con pendiente moderada.</p> <p>Serranía moderadamente disectada con pendiente ligera.</p>	<p>Ladera ligeramente disectada con pendiente ligera moderada.</p> <p>Morrenas y mantos morrénicos.</p> <p>Serranía ligeramente disectada con pendiente fuerte.</p> <p>Serranía moderadamente disectada con pendiente fuerte.</p> <p>Serranía moderadamente disectada con pendiente moderada.</p>	<p>Laderas altamente denudadas.</p> <p>Escarpe con pendiente fuerte.</p> <p>Ladera fuertemente disectada con pendiente ligera moderada.</p> <p>Ladera ligeramente disectada con pendiente fuerte.</p>
Riesgo	0,3 (bajo)	0,6 (moderado)	0,8 (alto)	1 (muy alto)
Red de drenaje	0,7::, X< 1,5 km/km?	1,5::, X< 2,0 km/km?	2,0 ::, X< 2,5 km/km-	2,5 S X< 3,0 km/km-
Riesgo	0,3 (bajo)	0,6 (moderado)	0,8 (alto)	1 (muy alto)

Fuente: Elaboración propia con datos de Suárez, 2012.

Figura N°4. Mapa de riesgo de deslizamientos y de flujos de mazamorra cuenca río Taquiña



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las causas del flujo de mazamorra en las cuencas alta y media, y las consecuencias catastróficas en la cuenta baja

En la rama izquierda de la parte alta de la cuenca se presentó una sobresaturación de los suelos debido a un evento extremo de precipitación local y lluvias durante días anteriores (se desconoce las características de estas lluvias porque no hubieron registros en la cuenca desde 2004) a tal punto de que los flujos superficiales se tornaron a flujos por infiltración, provocando así deslizamientos enormes de suelo y roca liquidificado {por la creación de sobrepresiones en los poros}, que se han dirigido por el curso del río llevando en sí múltiples rocas, socavando el lecho de curso principal de la cuenca media, agravando gradualmente la magnitud del flujo de la mazamorra y destruyendo todas las obras transversales de gaviones que tenían el objetivo de garantizar una pendiente artificial suave en el curso del río.

El flujo de mazamorra al entrarse en la cuenca baja debía retenerse sobre su cono de deyección. Aparentemente el cono de deyección del río Taquíña no está en funcionamiento. Al lado de la Cervecería la Taquíña se ha formado un canal profundo en el cono de deyección ocasionando que el río no use más su cono de deyección y que inmediatamente los flujos de mazamorra continúen hacia aguas abajo. Gran parte del cono de deyección se encuentra ocupada por la creciente mancha urbana. Desde el cono de deyección que estaba fuera de funcionamiento, el intenso flujo de la mazamorra ha continuado todavía 2,5 km a 3 km de distancia para disipar su energía total, remansándose contra el puente de la avenida Ecológica (por falta de sección hidráulica) provocando desbordes y acumulaciones de mazamorra sobre grandes áreas y espesores en las urbanizaciones de Tiquipaya/Trojes cercanas al eje del río, dañando infraestructura civil y varias propiedades privadas, hasta inclusive provocando pérdidas humanas de personas que no lograron escapar a tiempo de sus viviendas. Estas consecuencias muy negativas hubiesen sido menos desastrosas si se hubiese exigido respetar los anchos oficiales de las franjas de seguridad. Existía infraestructura civil y propiedades privadas en el borde del cauce principal del río sin respeto al cauce de época de lluvias del río. Por razones de suficiente cauce de verano, en el ancho de la franja a dejar libre a ambos lados del eje del río debería de ser 150 m.

Inclusive, el cauce principal en la cuenca baja se encontró parcialmente taponado por botadura ilegal de materiales excedentes de excavación y basuras. Además, también los puentes que destruyó el río no tenían suficiente sección hidráulica para eventos extremos, tampoco el puente de la avenida Ecológica que no se destruyó y el nuevo puente (avenida Circunvalación) que se ha construido cumple con suficiente sección hidráulica. Se debe estudiar el conjunto de puentes en un estudio hidrológico-hidráulico-geomorfológico global y no cada puente por un estudio separado.

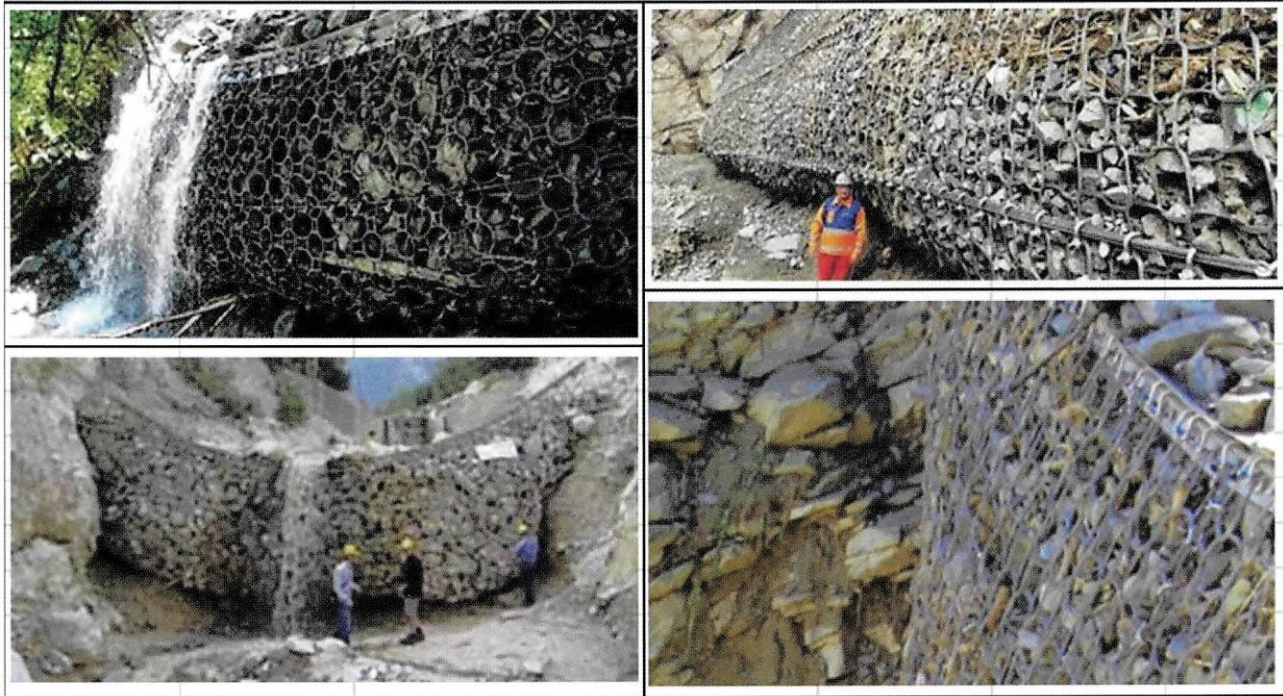
PLAN SUGERIDO DE INTERVENCIONES

Específicamente se recomienda las siguientes intervenciones:

- Mantener el material de mazamorra en las subcuencas altas:
 - En la literatura se ha encontrado que se usa en las partes altas de la cuenca en las quebradas y torrentes mallas reforzadas con anillos de acero anclado en ambas orillas y en el lecho, para retener la fracción gruesa de los flujos de mazamorra (barreras dinámicas), (Geobruigg, 2016)- Figura 5. Obras sencillas de gaviones no resisten en esta zona porque la densidad específica de la mazamorra es muy alta y se debe dejar pasar agua con sedimentos finos que por rozamiento abren fácilmente la malla delgada de los gaviones.
 - Con trabajos de reforestación con especies nativas.
 - Con intervenciones que reducen o eliminan riesgos de incendios.

- Reconstruir las obras transversales en el lecho principal de la cuenca media para suavizar la pendiente longitudinal, para disminuirla energía y efectos erosivos de los flujos líquidos con sedimentos y de los posibles flujos de mazamorra. Fundación profunda y/o anclaje profundo y lateral puede ser necesario, como también se requerirá cambiar gaviones por estructuras similares a las redes con anillos reforzadas de acero.
- Recuperar el funcionamiento del cono de deyección para evitar que los flujos de mazamorra entren con toda su intensidad (o que no entren) a la cuenca baja.

Figura N° 5. Barreras dinámicas contra flujo de mazamorra con mallas reforzadas con anillos de acero



Fuente: Geobrugg, 2016.

- Para disminuir los efectos de la mazamorra en el curso principal de la cuenca baja, es necesario un Plan de Gestión con un estricto cumplimiento por las autoridades y por los habitantes con la franja libre. La franja libre debe incluir hasta el lecho de verano (de época de aguas altas) del río.

Debe ser mínimamente 150 m a ambos lados del eje del río. En esta franja se debe realizar los trabajos de profundización del lecho en caso de que existiese demasiada cantidad de sedimentación. En la franja de seguridad, no se puede permitir la deposición de basuras, escombros y materiales de excavación.

Para mayor seguridad contra eventuales saldos de flujos de mazamorra, que logren entrar a la cuenca baja, se debe construir fosas de colmatación previstos de barreras dinámicas para retener mazamorra. Es también necesario que se planifiquen y construyan los puentes no solamente con suficiente sección hidráulica para el flujo de agua, pero se debe tomar en cuenta cambios fluviomorfológicos por sedimentación de material transportado o por mazamorra y la incidencia de estas sobre el remanso de agua hacia aguas arriba.

- Las obras e intervenciones recomendadas tienen un costo de inversión y de mantenimiento los cuales deben justificarse.
- Después del desastre los afectados deberán recuperarse con suficiente resiliencia, mediante o sin el apoyo del Estado. En su debido momento, las autoridades deberán informar y consultar sobre las decisiones tomadas respecto a la cuenca en cuanto a su política contra riesgos extremos. Cabe recordar que lo que se debe "manejar" no es la cuenca en sí, sino las intervenciones que el ser humano realiza en la misma, considerando el efecto que dichas intervenciones ocasionan en la dinámica de la cuenca.
- Para permitir los estudios de diseño y de gastos-beneficios, la ejecución de las obras e intervenciones y seguimiento es necesario contar con un continuo monitoreo directo e indirecto (a través de técnicas con imágenes satelitales) y estudios de datos básicos de la cuenca en las cuales los laboratorios de Geotecnia, Hidráulica e Hidrología de las diferentes Universidades pueden trabajar. Así mismo, deben formar profesionales para que puedan encargarse de los programas de manejo de cuencas y de registro de datos básicos. El manejo de la cuenca debe ser multidisciplinario.
- A corto plazo se debe levantar los datos básicos para los mapas temáticos de tipo de suelos, de uso de suelos y de isoyetas con máxima precipitación diaria con el fin de obtener mapas de riesgo de deslizamientos y de flujo de mazamorra de mayor precisión. Se debe realizar los estudios hidrológicos de caudales máximos de los eventos extremos. Asimismo, se deben hacer los estudios hidráulicos, de deslizamientos y de flujos de mazamorra.

CONCLUSIONES

Se han establecido las causas que originaron el flujo de mazamorra en las cuencas alta y media, se han estudiado las consecuencias catastróficas en la cuenca baja, se ha elaborado un mapa de riesgo de deslizamientos y de flujos de mazamorra y se ha propuesto intervenciones para evitar que flujos de mazamorra se repitan o para disminuir sus efectos negativos.

Los flujos de mazamorra son parte de la naturaleza. ¡Pero la situación se ha vuelto más peligrosa cuando los humanos llegaron a habitar los caminos de destrucción de estos flujos! (Los Angeles Time, Kean, 2017).

Los flujos de mazamorra son eventos extremos (de formación geológica de la Tierra), son muy desastrosos en corto tiempo cobrando inclusive hasta vidas humanas. Se presentan en muchos lugares en todo el mundo e implican anualmente grandes pérdidas (en Estados Unidos se estima promedio anual por flujos de mazamorra mueren 25 a 50 personas y la pérdida económica asciende de 2 a 4 billones de Dólares Americanos (Schuster, 2001)

Se estudian fuertemente posibilidades de prevención y de alerta temprana en Estados Unidos (U.S. Geological Survey, 2007; European Landslide Expert Group, 2007). A nivel internacional se tiene el "International Consortium on Landslides (ICL)" con el (International Programme on Landslides, 2002; Journal Landslides, 2002).

El flujo de mazamorra es diferente a un deslizamiento normal porque se trata del flujo de una masa liquidificada de suelo, rocas y agua. Influyen: Forestación, deforestación, precipitaciones máximas, precipitación previa, humedad previa, tipo de suelos, usos de suelos incendios previos, fallas geológicas, pendientes, intervención antrópica e historial de previos flujos de mazamorra.

La distancia que recorre un deslizamiento normal es corta limitada a máximo unos 100 m, la distancia que un flujo de mazamorra avanza es normalmente mayor pudiendo ser del orden de unos kilómetros, y por lo general se limita a la cuenca alta y media hasta el cono de deyección a la entrada de la cuenca baja. La velocidad de propagación de un flujo de mazamorra es muy alto y mayor a la velocidad de propagación del flujo de agua. Un flujo de mazamorra es repentino y puede cobrar vidas humanas. Los habitantes que pueden verse afectados deben recibir programas de capacitación afín de minimizar los riesgos. Así mismo en la cuenca baja se debe respetar las franjas de seguridad y el ancho total del lecho de verano del río.

El mapa de riesgos de deslizamientos y de flujos de mazamorra, que se ha determinado en la presente investigación, es una herramienta valiosa para el monitoreo de la cuenca, para el estudio, para la planificación de la intervención preventiva o de alerta en la cuenca y para el manejo de la cuenca en todos sus aspectos (ambiental, territorial, regional, ambiental integrado y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca).

Se ha formulado un amplio plan de intervenciones necesarias para disminuir o eliminar futuros riesgos de flujos de mazamorra, el cual es de mucha utilidad para las autoridades competentes. En la cuenca alta incluye obras para retener la mazamorra con barreras dinámicas, obras de reforestación y acciones para disminuir el riesgo de incendios. En la cuenca media la reconstrucción de las obras transversales con barreras dinámicas. En la cuenca baja obras para la recuperación del cono de deyección y un Plan de Gestión para hacer respetar y manejar el río con sus franjas de seguridad en ambos márgenes 150 m., 3.4.

Gracias a la Cooperación Suiza se creó el "Programa de Manejo Integral de Cuencas (PROMIC, 1990)". Este programa "identificó como modelo (cuenca piloto) a la cuenca de la torrentera Taquiña, mediante la hidráulica con sus componentes de geología, hidrología y geotecnia; para luego aplicar los resultados de su manejo a las otras cuencas del Departamento de Cochabamba con características similares. Cerca de 12 años de investigación, estudios y proyectos permitieron desarrollar el control y manejo de los suelos y del sistema productivo en la cuenca. A partir del 2007 "las (nuevas) autoridades fueron cerrando al PROMIC, finalizando su accionar en 2009. Aquí es el punto de inflexión porque posteriormente, se olvidaron de dar continuidad al enfoque técnico de PROMIC hacia la cuenca Taquiña y las otras cuencas del Departamento de Cochabamba.

Con el estudio realizado se ha logrado presenciar el poco control que existe en las cuencas del Departamento de Cochabamba puesto que las Instituciones Públicas encargadas de las cuencas cuentan con el mínimo apoyo del Gobierno. Dicho descuido, hace que no se dio continuidad desde el 2004 a levantar datos meteorológicos e hidrológicos en las tres estaciones en la cuenca alta y media de la cuenca Taquiña y que actualmente no se cuenta con el registro de la lluvia que causó el flujo de mazamorra. También desde el 2007 la cuenca Taquiña casi no tuvo control y mantenimiento de sus obras principales. La cuenca ha perdido el funcionamiento de su cono de deyección. Es inentendible para la Comunidad Universitaria el insuficiente interés público en el manejo de la cuenca Taquiña a pesar que esta cuenca está cerca de las Ciudades de Cochabamba y Tiquipaya. Con el flujo de la mazamorra de febrero 2018 la Ciudad de Tiquipaya resulto seriamente afectada, pero con un próximo flujo de mazamorra también la Ciudad de Cochabamba puede verse afectada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las siguientes instituciones por su aporte valioso con información básica para el proyecto, con su opinión técnica a cerca del flujo de mazamorra y con sus recomendaciones para la investigación:

- Servicio Departamental de Cuencas - SDC.
- Oficina Regional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI.
- Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Mayor de San Simón - LHUMSS.
- Laboratorio de Hidrología de la Universidad Privada del Valle de Cochabamba - UNIVALLE.

Se agradece también a los estudiantes de la materia Hidrología Gestión-I 2018, quienes aportaron de manera externa información con respecto a la presente investigación y que no se encuentran mencionados en el presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- European Landslide Expert Group. (2007) Joint Research Centre European soil data Centre (ESDAC). European Landslide Expert Group. Recuperado de <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/european-landslide-expert-group> y de <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/landslides>, (consulta, 2018, 25 de junio).
- Fides. (9 de febrero 2018). Expertos explican posibles causas de la mazamorra que azotó a Tiquipaya. Agencia de Noticias Fides, ANF. [Ilustración]. Recuperada de <https://www.noticiasfides.com/nacional/sociedad/expertos-explican-posibles-causas-de-la-mazamorra-que-azoto-a-tiquipaya-385635>.
- Geobruigg. (2016) Compañía Suiza que provee soluciones de mallas de seguridad realizadas con alambres y anillos de acero de alta resistencia. Barrera contra Flujos de Mazamorra en Valles V. recuperado de <https://www.geobruigg.com/en/Debris-flow-barrier-VX-7951,7859.html>. Barrera contra Flujos de Mazamorra en Valles U. Recuperado de <https://www.geobruigg.com/en/Debris-flow-barrier-UX-7949,7859.html>. (consulta 2018, 20 de junio).
- Highland, L.M. y Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides. CIR 1325 U.S. Geological Survey. U.S.A. Recuperado de https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf. <https://doi.org/10.3133/cir1325>
- International Consortium on Landslides (ICL). (2002) International Programme on Landslides. Journal Landslides. Recuperado de <http://icliphq.org/>, (consulta 2018, 25 de junio).
- Jasan Kean. (2017, 08 de enero). Hidrólogo del Servicio Geológico de Estados Unidos. As California Goes from Drought to Deluge, a Dangerous Old Foe Returns: Mudslides. Los Angeles Time. Recuperado de <https://www.latimes.com/local/lanow/la-me-ln-how-landslides-work-20170121-story.html>.
- Lacob, J. (2014, 08 de junio). Weathering, Erosion, Deposition. recuperado de <https://www.slideshare.net/jeanielacob/weathering-erosion-deposition-40701367?>.
- Manzaneda, L. (2018, 8 de febrero). Deforestación, incendios y falta de manejo de cuencas causaron el alud. Los Tiempos. Recuperado de <https://www.pressreader.com/bolivia/los-tiempos/20180208/281646780595049>.
- Marquez, A. (2018, 14 de febrero). Evo: estamos preparados para prevenir desastres. Cambio, Periódico del Estado Plurinacional de Bolivia. Recuperado de <http://190.129.90.36/cambio3/?q=node/40066>.
- Opinión. (Consulta 2018, 31 de mayo). Expertos explican posibles causas de la mazamorra que azotó a Tiquipaya. Opinión, 9 de febrero 2018. Ilustración recuperada de <http://www.opinion.com.bo/opinion/articulos/noticias.php?a=2018&md=0209&id=244805>.
- Página Siete. (2018, 31 de mayo). Defensa pide que familias evacúen zonas afectadas por mazamorra

en Tiquipaya. Página Siete, 8 de febrero 2018, ilustración recuperada de <https://www.paginasiete.bo/sociedad/2018/2/8/defensa-pid-e-familias-evacuacion-as-afectadas-mazamorra-tiquipaya-16930.html>.

Schuster, R.L. y Highland, L.M. (2001). Socioeconomic and Environmental Impacts of Landslides in the Western Hemisphere -2001. Open file Report 01-0276 U.S. Geological Survey. U.S.A. recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0276/> y <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/how-much-do-landslides-cost-terms-monetary-losses> (consulta 2018, 23 de junio).

<https://doi.org/10.3133/ofr01276>

Suárez, J. Deslizamientos Tomo 1 (2012): Análisis Geotécnico y Tomo 11 (2012): Técnicas de Remediación, Capítulo 13 Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. Libro en línea www.erosion.com.co.

U.S. Geological Survey (USGS). (2007) 1394 ítems (artículos, informes, multimedia, noticias, softwares, links respecto deslizamientos y flujos de mazamorra). Recuperado de <https://www.usgs.gov/science-explorer-results?es=landslides> (consulta 2018, 01 de junio).

Urgentebo. (31 de mayo del 2018). Tiquipaya: el 50% de casas afectadas por mazamorra vuelve a recibir energía. [Ilustración]. Recuperada de <https://www.urgentebo.com/noticia/tiquipaya-el-50-de-casas-afectadas-por-mazamorra-vuelve-recibir-energia>.

Villazón, M.F., Vallejos, F. 2007. Application of the WetSpa model to the Taquiña catchment with low quality data, Cochabamba, Bolivia. Proceeding at: International Congress on Development, Environment and Natural Resources: Multi-level and multi-scale sustainability, 11-13 July (pp. 506-512), Cochabamba, Bolivia.

Zárate, O. (diciembre 2010). Aplicabilidad del modelo hidrológico SWAT en cuencas con características extremas - Cuencas de los ríos Taquiña y Tolomosa. ACTA NOVA. Vol. 4, N° 4.

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores. **Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2019 Claude Le Noir; Nahúm Gamalier Cayo Chileno; Héctor Luis Sánchez Miranda; Alex Isaac Arrázola Brañez; José Gabriel Terán Camacho; Jesús Gilbert Noel Zampieri



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de licencia](#)